

ЭПТ 2018



ACED 2018

УДК 621.313.3

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГИБРИДНЫХ РЕАКТОРНО - ТИРИСТОРНЫХ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

PECULIARITIES OF REALIZATION OF A HYBRID REACTOR-THYRISTOR STARTING DEVICES FOR AC MOTORS

Сарваров Анвар Сабулханович, д-р. техн. наук, профессор. кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: anvar@magtu.ru. Тел.: +79123000127

Вечеркин Максим Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры физики Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: vecherkin@inbox.ru. Тел.: +79642455681

Петрякова Екатерина Сергеевна, магистрант кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, Россия, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. E-mail: katpetryakova@gmail.com Тел.: +79630953237

Anvar S. Sarvarov, Doctor Sc., Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: anvar@magtu.ru. Тел.: +79123000127.

Maksim V. Vecherkin, Cand. Sc., Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: vecherkin@inbox.ru. Ph.: +79642455681

Ekaterina S. Petriakova, Master's student, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Lenin street, 38, Magnitogorsk, Russia. E-mail: petryakova-ekaterina@mail.ru.

Аннотация: Обоснована проблема создания простейших по конструкции, малозатратных и энергоэффективных пусковых устройств. Показано влияние на колебательность переходного момента двигателя моментов времени переключения его на напряжение сети. Обоснована необходимость обеспечения коммутационного процесса в благоприятный момент времени. Показаны пути решения проблемы на основе современных реакторных устройств плавного пуска. Рассмотрена идея и схема реализации гибридного реакторно-тиристорного пускового устройства. Обоснована возможность практически полного устранения колебаний переходного момента при переключении двигателя на сеть на ранней стадии пускового процесса.

Abstract:

The problem of creating the simplest in design, low-cost and energy-efficient starting devices is substantiated. The effect on the oscillation of the transient torque of the motor has been shown to be the times of switching it to the mains voltage. The necessity of providing the switching process at a favorable moment of time is substantiated. The ways of solving the problem on the basis of modern soft start reactors are shown. The idea and the scheme of realization of the hybrid reactor-thyristor starting device are considered. The possibility of complete elimination of oscillations of the transient moment when the engine is switched to the network at an early stage of the starting process is substantiated.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, реакторный пуск, переходный момент, колебательность, благоприятный момент включения, реакторно-тиристорное устройство

Key words: asynchronous motor, transitional moment, the oscillatory, the favorable moment of switching, reactor-thyristor device

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня, когда на рынке электротехнической продукции, представлен широкий ряд пусковых устройств, прямой пуск низковольтных двигателей мощностью свыше 100 кВт и высоковольтных мощностью свыше 800 кВт является признаком низкой технической культуры [1]. Для таких двигателей прямой пуск квалифицируется как аварийно-опасный режим. Негативные процессы и последствия такого пуска общеизвестны.

В настоящее время на крупнейших металлургических предприятиях России нерегулируемые электроприводы мощностью свыше 250- 300 кВт являются высоковольтными и не оснащены в своем большинстве устройствами плавного пуска. Следует отметить, что практически все мощные электроприводы переменного тока, введенные в эксплуатацию в эпоху индустриализации страны были ориентированы при проектировании на пуск прямым подключением к сети. Эта традиция продолжилась затем и во второй половине XX-го века. В табл.1 приведены данные по количеству мощных двигателей переменного тока на Магнитогорском металлургическом комбинате [2, 3].

Таблица 1

Количество двигателей переменного тока по группам мощности в ПАО «ММК»

Группа Мощности, кВт	100-250	250,1-500	501-1000	100,1-5000	Свыше 5000
Количество ПАО«ММК» [2]	2686	812	553	394	80
Количество ГОП ПАО «ММК»[3]		150-320	320-1000	Свыше 1000	
		482	124	21	

Если такую оценку провести в целом по отрасли черной металлургии, то в масштабах России эти данные следует увеличить на порядок и более.

Для решения задач минимизации негативного влияния пусковых процессов на АД наиболее эффективными являются преобразователи частоты (ПЧ) и пускатели на основе тиристорных регуляторов напряжения (ТРН). Однако стоимость таких устройств для мощных высоковольтных АД продолжает оставаться высокой, что препятствует их широкому применению. В этой связи, следует отметить, масштабность существующей проблемы в области разработки сравнительно недорогих в реализации способов пуска на основе реакторных, автотрансформаторных и других им подобных пусковых устройств. Во многих случаях их применение позволяет в определенной степени

снизить величины экстремальных пусковых воздействий и повысить надежность эксплуатации электроприводов переменного тока. Однако реакторно-трансформаторные устройства пуска, ограничивая кратность пусковых токов и колебательную составляющую пускового момента, при затяжном пуске приводят к значительным тепловым потерям в двигателе.

В целом следует отметить, что проблема создания простейших по конструкции, малозатратных и энергоэффективных пусковых устройств остается не решенной.

АКТУАЛЬНОСТЬ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

При пуске АД с ограничением питающего напряжения решаются две задачи: снижаются кратность размаха колебательной составляющей электромагнитного момента [4, 5] и пусковой ток статора. Однако, если пуск двигателя будет слишком затяжным, то пусковые потери могут вдвое и более превысить потери при прямом пуске [6]. На металлургических предприятиях питающие сети, как правило, являются мощными, что позволяет считать первостепенной задачей при пуске АД – ограничение амплитуд ударных пусковых моментов (кратности размаха колебаний момента k_0).

Как известно, реакторный пуск высоковольтных АД является двухступенчатым. Если двигатель пускают при нулевых начальных условиях, то характер переходных процессов на первой ступени пуска определяется только характеристиками двигателя и реактора [7]. Типичные расчетные осциллограммы переходного электромагнитного момента при прямом и реакторном пуске высоковольтного инерционного асинхронного электропривода представлены на рис.1. Расчеты проведены для высоковольтного АД с $P_n = 800$ кВт, $U_n = 6$ кВ, $M_n = 5100$ Н·м [4].

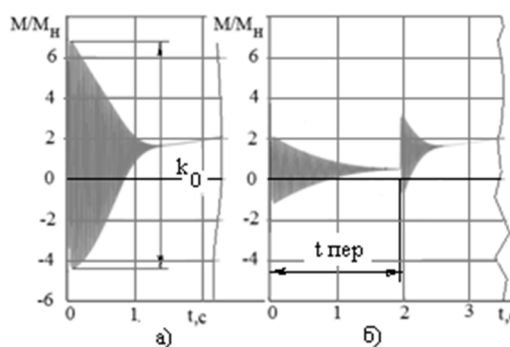


Рис.1. Расчетные осциллограммы переходного момента при прямом и реакторном пуске

При переходе к реакторному пуску кратность размаха колебаний момента k_0 (рис.1,б) снижается практически в 3 раза в сравнении с прямым пуском (рис. 1,а), что заметно снижает

динамические нагрузки в механической части электропривода. Необходимо отметить, что в теории и практике применения реакторного пуска недостаточно исследованным остается вопрос о выборе времени переключения на сеть. Обычно рекомендуется осуществлять переключение на сеть при достижении ротором двигателя скорости близкой к номинальному значению [4]. Однако, при этом длительность пуска и соответственно тепловые потери в двигателе заметно возрастают.

Переключение на сеть происходит при ненулевых условиях, которые в настоящее время при реакторном пуске не принимаются во внимание. На характер изменения переходного момента и соответственно тока статора в значительной степени влияют условия (мгновенные значения тока и напряжения) в момент времени $t_{пер}$ [8]. На рис. 2 приведены осциллограммы переходных моментов для различных начальных условий переключения на напряжение питающей сети. Осциллограмма на рис. 2, а соответствует неблагоприятным начальным условиям переключения на полное напряжение. При этом размах колебаний достигает 8-кратных значений. При благоприятных начальных условиях (рис. 2, б) размах колебаний переходного момента снижается до малозначимых величин. Интервал между указанными моментами времени переключения на сетевое напряжение на рис. 2 составляет 0,011 с.

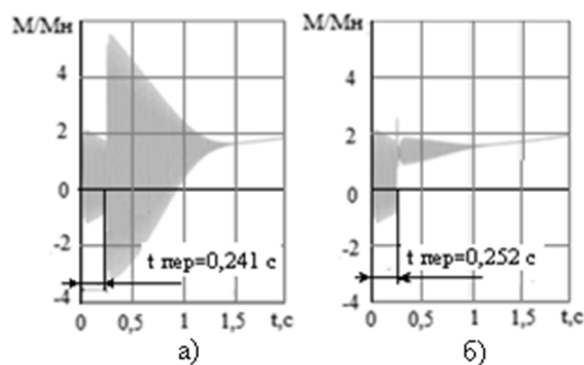


Рис.2. Осциллограммы переходных моментов для различных начальных условий переключения на напряжение сети

Задача правильного выбора момента переключения является особенно важной, поскольку он является единственным управляемым параметром при реакторном пуске. Современные типовые промышленно-выпускаемые устройства реакторного пуска не обеспечивают техническую реализуемость процесса переключения при благоприятных моментах времени $t_{пер}$. Время срабатывания коммутирующей аппаратуры составляет для высоковольтных выключателей 5-10 периодов питающего напряжения.

На пути совершенствования реакторных пусковых устройств в качестве главных задач следует выделить:

1. Обеспечение переключения АД при благоприятных условиях для переключения двигателя на сетевое напряжение с полным устранением колебательной составляющей переходного момента
2. Оптимизация длительности реакторного пуска АД по минимуму потерь в двигателе.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Сокращение длительности пуска не только способствует снижению потерь в двигателе, но и позволяет применить реактор с меньшими массогабаритными показателями. Часто габаритные размеры пускового реактора являются сдерживающим фактором для их внедрения [9]. Действительно, на практике реакторы достаточно включить на несколько секунд – до установления по условиям питающей сети допустимой кратности тока статора. В [9] предлагается шунтировать реактор при установлении номинального тока и ограничивать ток статора в пусковом режиме [10] на уровне $(2,0...3,0) I_{ном}$. Длительность пуска при этом составляет 9 с. За этот период можно допустить кратковременный перегрев обмотки реактора.

Группой «РУСЭЛТ» предложено реакторное устройство плавного пуска СПРИНТ-В-Р [11]. Реактор в данном устройстве имеет дополнительную обмотку подмагничивания с тиристорной группой управления. В начальный момент при пуске электродвигателя, подмагничивание отсутствует и индуктивное сопротивление максимальное, что обеспечивает ограничение пускового тока, на уровне $1,5-3 I_{ном}$. В последующем, при снижении пускового тока электродвигателя происходит увеличение тока подмагничивания, которое обеспечивает удержание тока электродвигателя на том же уровне. После разгона двигателя (падение тока ниже $3 I_{ном}$) ток подмагничивания достигает максимального значения, при этом индуктивное сопротивление реактора становится минимальным. Длительность пуска в данном случае регламентируется пределами 50-110 с. Пуск завершается шунтированием реактора.

Благоприятный процесс перехода на сетевое напряжение обеспечивает, как показали исследования, трансформаторно-тиристорный пускатель [5, 12-14]. Основным недостатком его является значительный ток через тиристорный коммутатор во вторичной низковольтной обмотке. Однако, при кратковременном регулировании этот недостаток является не столь значимым.

В данной статье предлагается к рассмотрению идея создания гибридного реакторно-тиристорного пускового устройства, принципиальная схема которого приведена на рис. 3.

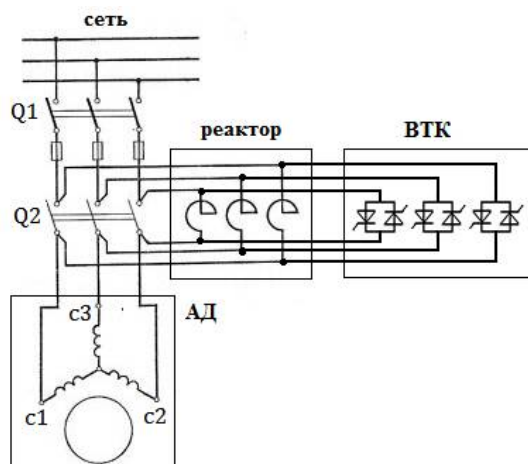
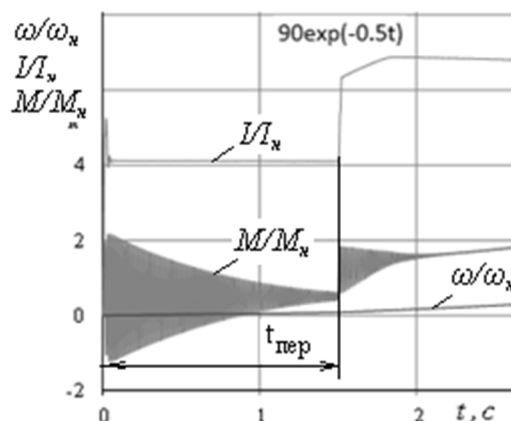


Рис. 3. Принципиальная схема гибридного реакторно-тиристорного пускового устройства

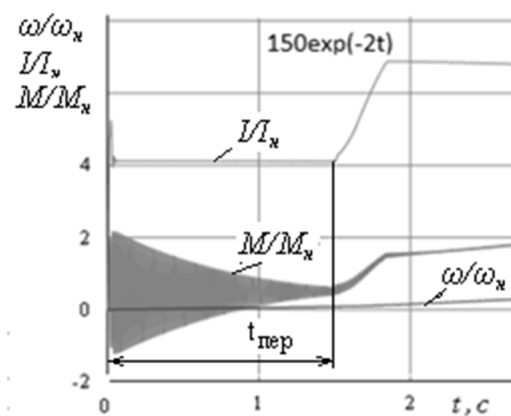
Предварительно принимается, что оптимальная по минимуму потеря длительность реакторного пуска определена. По окончании этапа реакторного пуска переход на сетевое напряжение осуществляется шунтированием реактора автоматическим выключателем Q2. Среднее время срабатывания высоковольтного (вакуумного или масляного) выключателя составляет в среднем 0,2-0,25 с. На этом временном интервале, как выше уже отмечалось, есть благоприятные моменты времени для подключения двигателя на полное напряжение питающей сети, обеспечивающие минимум колебательной составляющей переходного момента двигателя. Естественный разброс длительности коммутации вакуумного выключателя не позволяет решить задачу подключения двигателя на полное напряжение в благоприятные моменты времени. По этой причине предлагается дополнительно применить высоковольтный тиристорный коммутатор (ВТК), как устройство кратковременного действия с длительностью рабочего времени менее 0,5 с. При этом требования к данному устройству могут принципиально отличаться от требований, которые предъявляются к традиционным полупроводниковым пусковым устройствам.

ВТК синхронизированный с сетью позволит на интервале времени срабатывания высоковольтного выключателя реализовать предварительное подключение двигателя к сети в благоприятный момент времени в течение времени срабатывания Q2. После его срабатывания реактор и тиристорный коммутатор шунтируются контактами выключателя Q2 и естественным образом выводятся из работы. На

рис.4 приведены результаты моделирования данного процесса.



а)



б)

Рис.4. Результаты моделирования процесса реакторного пуска АД с подключением ВТК на интервале шунтирования реактора

На рис. 4, а показан процесс при изменении угла управления тиристорами по закону $\alpha=90\exp(-0,5t)$, при этом наблюдаются колебания момента с кратностью размаха $0,6M_n$. При изменении угла управления по закону $\alpha=150\exp(-2t)$ на момент шунтирования реактора возникают более благоприятные начальные условия, о чем свидетельствует характер изменения переходного момента на рис. 4, б. Процесс шунтирования реактора завершается без колебаний момента. Длительность работы высоковольтного коммутатора в обоих случаях составляет 0,38 с.

ВЫВОДЫ

1. Гибридное пусковое устройство на основе реактора и высоковольтного тиристорного коммутатора позволяет осуществить переключение АД на сетевое напряжение на любом интервале процесса пуска с целью оптимизация длительности реакторного пуска АД по минимуму потерь в двигателе.

2. Исследования показали, что при кратковременном действии высоковольтного тиристорного коммутатора технически реализуется возможность обеспечения благоприятного момента времени переключения двигателя на сетевое напряжение с полным устранением колебательной составляющей переходного момента.

3. Время работы тиристорного коммутатора не превышает 0,5 с, что требует разработки концепции по созданию тиристорного пускового устройства кратковременного действия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Значение автоматизированного электропривода для модернизации экономики // Труды VII Международной (VII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу. Иваново. 2012. С. 4-9.
2. Осипов О.И., Славгородский В.Б. Состояние и перспективы модернизации автоматизированного электропривода прокатных станов в черной металлургии // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (АЭП-2004, Магнитогорск, 14-17 сентября 2004 г.) Часть 1. Магнитогорск, 2004. С.16-23.
3. Сарваров А.С., Петушков М.Ю., Вечеркин М.В. Основы построения трансформаторно-тиристорных пусковых устройств для высоковольтных асинхронных электроприводов: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 105 С.
4. Оценка колебательной составляющей переходного момента и выбор времени переключения на сеть при реакторном пуске высоковольтных асинхронных электроприводов / Вечеркин М.В., Сарваров А.С., Макаров А.В., Фахритдинова Г.М. // Вестник ЮУрГУ, серия «Энергетика». 2016. Т.16. №4. С. 84-88.
5. Славгородская Е.В., Славгородский В.Б., Сарваров И.А., Вечеркин М.В. Моделирование пусковых процессов асинхронных двигателей при использовании тиристорных регуляторов

напряжения, реакторов, автотрансформаторов и трансформаторно-тиристорных пусковых устройств // Труды VII Международной (VII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». Иваново. 2012. С. 350-355.

6. Энергосберегающий асинхронный электропривод / Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.
7. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе / Соколов М.М., Петров Л.П., Масандилов Л.Б., Ладензон В.А. М.: Энергия, 1967. 201 с.
8. Петров Л.П. Управление пуском и торможением асинхронных двигателей: М.: Энергоиздат, 1981. 184 с.
9. Пат. № 2407139 Российская Федерация, МПК H02P1/28, H01F21/00, H01F29/04. Устройства плавного пуска электродвигателя переменного тока и реактор для указанного устройства/ Барский В.А.; заявл. 10.03.2009; опубл. 20.12.2010.
10. Барский В.А., Быканов Р.К. Опыт разработки и применения серии устройств плавного пуска типа РУПП // Електромеханічні І енергозберігаючі системи. Випуск 3/2012 (19). С. 86-89.
11. www.ruselt.ru/catalogs/ruselt-catalog-ac-dc.pdf
12. Инновационные разработки ГОУ ВПО «МГТУ» в области создания высокودинамичных и энергосберегающих электроприводов / Селиванов И.А., Лукьянов С.И., Карандаев А.С., Сарваров А.С. // Вестник Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2009. № 2. С. 42-48.
13. Пусковое устройство трехфазного высоковольтного электродвигателя переменного тока. Свидетельство РФ на полезную модель №82963, опубл. в БИМП. 2009. №3. Анисимов Д.М., Сарваров И.А., Петушков М.Ю., Сарваров А.С.
14. Возможности трансформаторно-тиристорной структуры как пускового устройства высоковольтных асинхронных двигателей / Вечеркин М.В., Петушков М.Ю., Сарваров А.С. // Вестник Ивановского государственного технического университета. 2013. Вып. 1. С. 88-91.